Microfoonversterkers

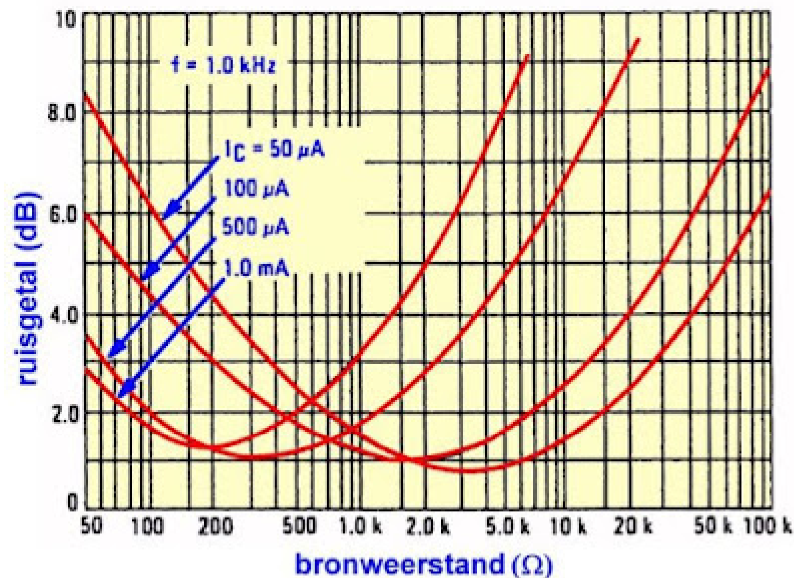
Aan microfoonversterkers worden tamelijk hoge eisen gesteld. De uitgangsspanning van de meeste microfoons is extreem laag (mV bereik). Een microfoonversterker moet dus flink versterken maar moet bovendien zo min mogelijk eigen ruis produceren.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 15-12-2018

Het verschijnsel onderdelenruis

Transistor of op-amp?
U zult zich waarschijnlijk de vraag stellen waarom in dit artikel nog zoveel aandacht wordt besteed aan transistorschakelingen. Met een op-amp hebt u een gevoelige versterker in een-twee-drie in elkaar gesleuteld. Dat is waar, maar de meeste 'gewone' op-amp's zoals een 741 hebben een ruis die in feite veel te groot is om als microfoonversterker te kunnen gebruiken. Als u een simpel en goedkoop elektreetje hebt liggen dat u moet versterken, dan kunt u daar wel een op-amp trapje achter schakelen. De kwaliteit van zo'n microfoontje is toch niet erg hoog. Als u echter het signaal van een gevoelige en dure condensatormicrofoon wilt versterken is het toepassen van een paar oeroude ruisarme transistoren zoals de BC109 toch nog steeds aan te raden.

Ruis van transistoren
Zoals alle elektronische onderdelen produceren ook transistoren ruis. Ruis is het resultaat van een heleboel nogal ingewikkelde fysische verschijnselen en men kan een heel boek volschrijven met diep-wiskundige beschouwingen over ruis. Waar het echter in het kader van dit artikel om gaat is natuurlijk de vraag hoe u een transistor zo min mogelijk ruis kunt laten produceren. Er bestaat een bepaald verband tussen de collectorstroom, de bronimpedantie en de ruis die een transistor produceert. Dit verband wordt samengevat in een karakteristiek, zie onderstaande figuur, die bij de technische gegevens van vrijwel alle transistoren wordt opgenomen.
Uit deze karakteristiek blijkt duidelijk dat de geproduceerde ruis met een factor vier kan variëren in functie van de collectorstroom. Voor een transistor als een BC109 is, bij een bronimpedantie van 600 Ω (de standaard impedantie van een heleboel microfoons) de eigen ruis van de halfgeleider het laagst als u de collectorstroom instelt op ongeveer 180 µA. Zakt de bronimpedantie tot 200 Ω dan moet u ongeveer 400 µA door de collector sturen om zo min mogelijk transistorruis te krijgen. Dergelijke gegevens moet u goed in de gaten houden als u zélf gaat stoeien met het ontwerpen van microfoonversterkers!

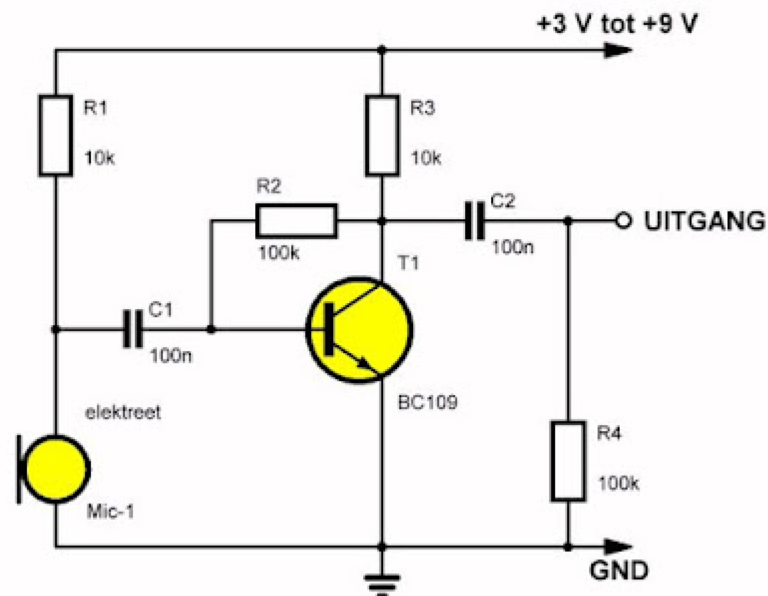


Het verband tussen de bronimpedantie, de collectorstroom en de ruis van een transistor.
(© 2018 Jos Verstraten)

Waarom de BC109/BC179?
In de onderstaande praktische schema's wordt gebruik gemaakt van twee oeroude transistoren in TO-18 metal can behuizing, de BC109 en eventueel de BC179 als complementaire aanvuller. Daar zijn drie goede redenen voor op te noemen. Op de eerste plaats zijn deze transistoren extreem ruisarm en worden zij al tientallen jaren door alle fabrikanten aanbevolen voor gevoelige audio-schakelingen. Op de tweede plaats zijn zij, dank zij hun grote TO-18 behuizing en lange aansluitdraadjes, goed geschikt voor het opbouwen van experimentele schakelingetjes op breadboards en Veroboard. U kunt gemakkelijk met de probes van uw meetapparatuur aan alle pootjes. Op de derde plaats zijn deze halfgeleiders nog steeds goed leverbaar door iedere onderdelenleverancier.

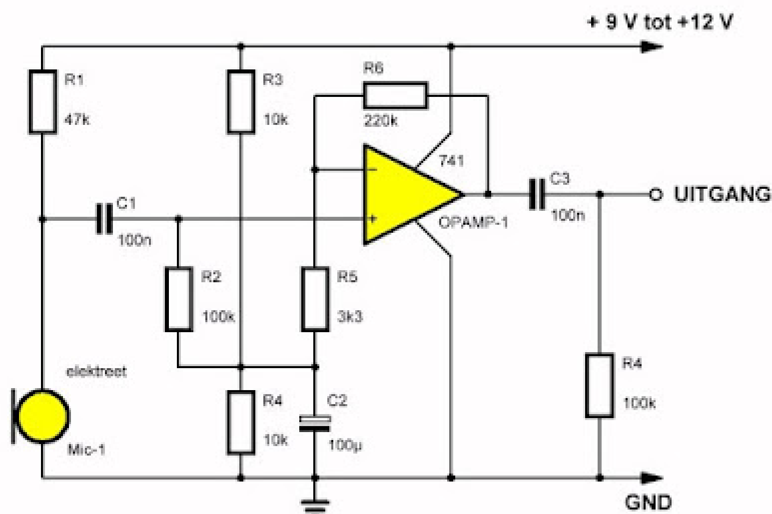
Versterkers voor elektreet microfoons

Eentraps transistor versterker
In onderstaande figuur is het schema getekend van de meest eenvoudige elektreet versterker die denkbaar is. De ene transistor stabiliseert zichzelf door de terugkoppeling van de collector naar de basis. De voeding voor de elektreet wordt via de weerstand R1 aan het kapsel aangeboden. De variërende stroom door het kapsel moduleert de spanning over R1. De wisselspanning wordt gescheiden van de instelspanning door de condensator C1 en aangeboden aan de basis van de transistor. Het versterkte signaal kunt u afnemen van de collector via de scheidingscondensator C2.



Een eentraps elektreet voorversterker. (© 2018 Jos Verstraten)

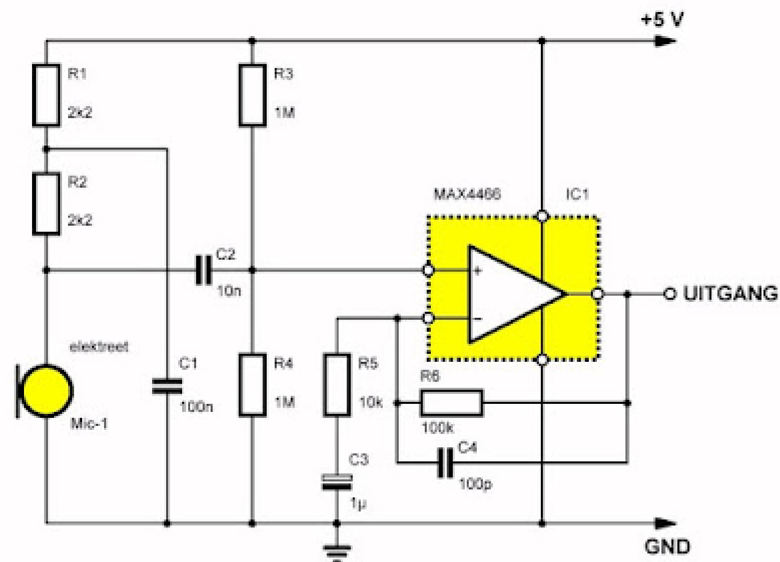
Elektreet versterker met een op-amp
In onderstaand schema ziet u hoe u het uitgangssignaal van een elektreet microfoon kunt versterken met een op-amp. De op-amp wordt ingesteld op de helft van de voedingsspanning met behulp van de spanningsdeler R3/R4. Dit punt wordt ontkoppeld met de condensator C2 en is de GND-referentie voor de signalen. De op-amp is ingesteld als niet-inverterende versterker, dus het uitgangssignaal van de elektreet gaat via de scheidingscondensator C1 naar de positieve ingang. De versterking wordt bepaald door de weerstandsdeler R5/R6 tussen de uitgang, de inverterende ingang en het referentiepotentiaal. De uitgangsspanning wordt bevrijd van de instelspanning door de condensator C3.



Een elektreet versterker met een op-amp. (© 2018 Jos Verstraten)

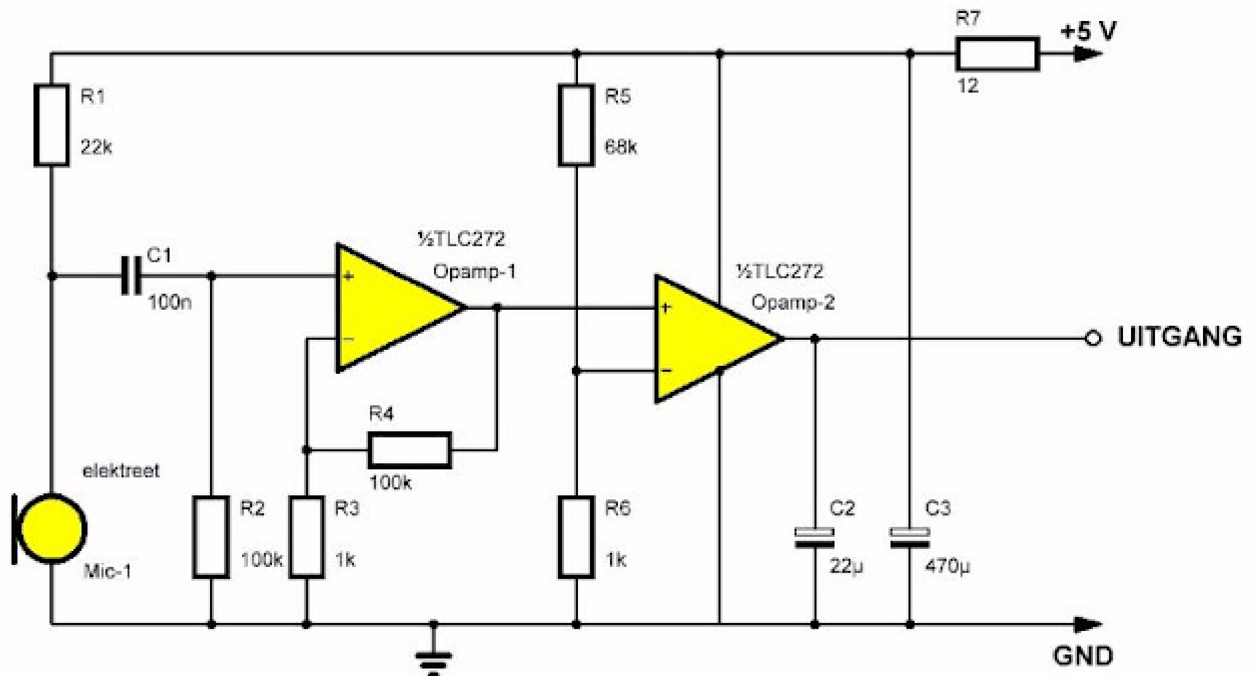
Elektreet versterker met de MAX4466
De MAX4466 is een versterker die speciaal is ontworpen voor het versterken van het uitgangssignaal van elektreet microfoon kapseltjes. Het bandbreedte/versterkings-product bedraagt meer dan 600 kHz en de eigen versterking is 125 dB bij een belasting met 100 kΩ. De uitgangsspanning is rail-to-rail, hetgeen wil zeggen dat de uitgang tot bijna tegen de positieve en negatieve voedingsspanning kan stijgen of dalen. De stroomopname bedraagt slechts 60 µA. De maximale voedingsspanning bedraagt 5,5 V.
In onderstaande figuur is de standaard schakeling rond de MAX4466 getekend. De twee weerstanden van 2,2 kΩ aan de ingang zorgen voor de voeding van het elektreet kapseltje. De versterking van de trap wordt vastgelegd door het tegenkoppelingsnetwerk van 10 kΩ en 100 kΩ (R5/R6). In dit geval is de gesloten lus versterking dus 10. De schakeling is

geoptimaliseerd voor een voedingsspanning van 5 V en voor het toepassen van miniatuur SMD-onderdeeltjes.



Een elektreet versterker met een MAX4466. (© 2018 Jos Verstraten)

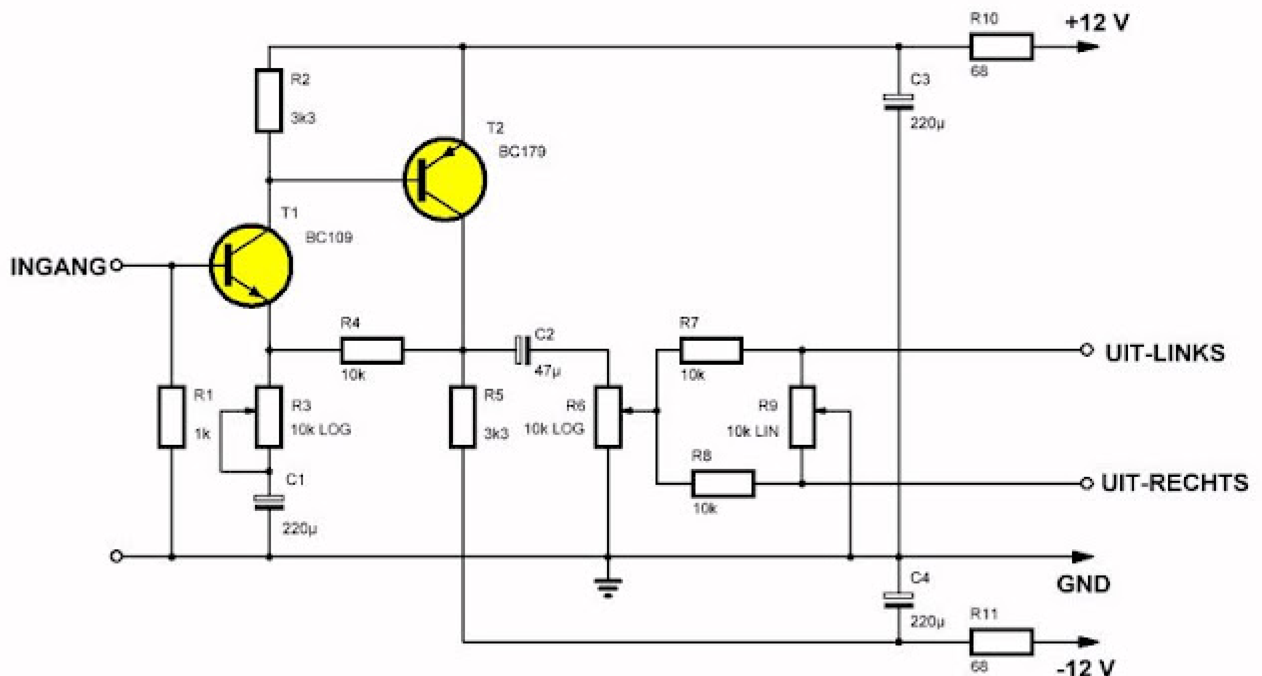
Een 'klapschakelaar' met een elektreet microfoon
Moderne digitale toepassingen moeten vaak een actie ondernemen als u een handeling verricht, bijvoorbeeld in uw handen klapt. Met een goedkoop elektreet microfoonkapseltje en een dubbele op-amp kunt u zo'n 'klapschakelaar' maken volgens onderstaand schema.
De gebruikte op-amp is een TLC272 die compatibel is met een aantal andere dual op-amps zoals de LM393, de LM358, de OPA2344 en de OPA2345.
Opamp-1 wordt gebruikt als een niet-inverterende versterker. Deze schakeling heeft een hogere impedantie dan de inverterende versterker. De versterking van deze versterker wordt bepaald door de formule:
A = 1 + [R4 / R3]
en bedraagt dus 40 dB (101x). Indien gewenst kunt u voor R4 een instelpotentiometer in het schema opnemen. In deze schakeling is het wel van belang dat u er voor zorgt dat de versterker een DC-pad naar de massa heeft voor de zeer kleine ingangsstroom die in de niet-inverterende ingang moet lopen. Dit wordt bereikt door het opnemen van de weerstand R2 in de ingang. De waarde hiervan kan meestal 100 kΩ of meer zijn. Zonder deze weerstand zal de uitgang van opamp-1 vastlopen tegen de voeding of de massa.
De weerstand R2 vormt samen met de scheidingscondensator C1 een hoogdoorlaatfilter met een bepaalde afsnijfrequentie. Deze frequentie wordt gegeven door de formule:
f = 1 / [2 ● π ● R2 ● C1].
Voor de gebruikte combinatie is dit 16 Hz.
Opamp-2 is geschakeld als comparator. Deze vergelijkt de uitgangsspanning van opamp-1 met een referentiespanning op de inverterende ingang. Bij voeding met 5 V is de spanning op de inverterende ingang 72 mV. Op het moment dat de uitgangsspanning van opamp-1 groter wordt dan deze spanning zal de uitgang van de schakeling 'H' worden. Met een versterking van 100 rond opamp-1 is een spanning van 720 µV uit de microfoon al voldoende om de klapschakelaar te activeren.



Een elektreet gebruikt als 'klapschakelaar'. (© 2018 Jos Verstraten)

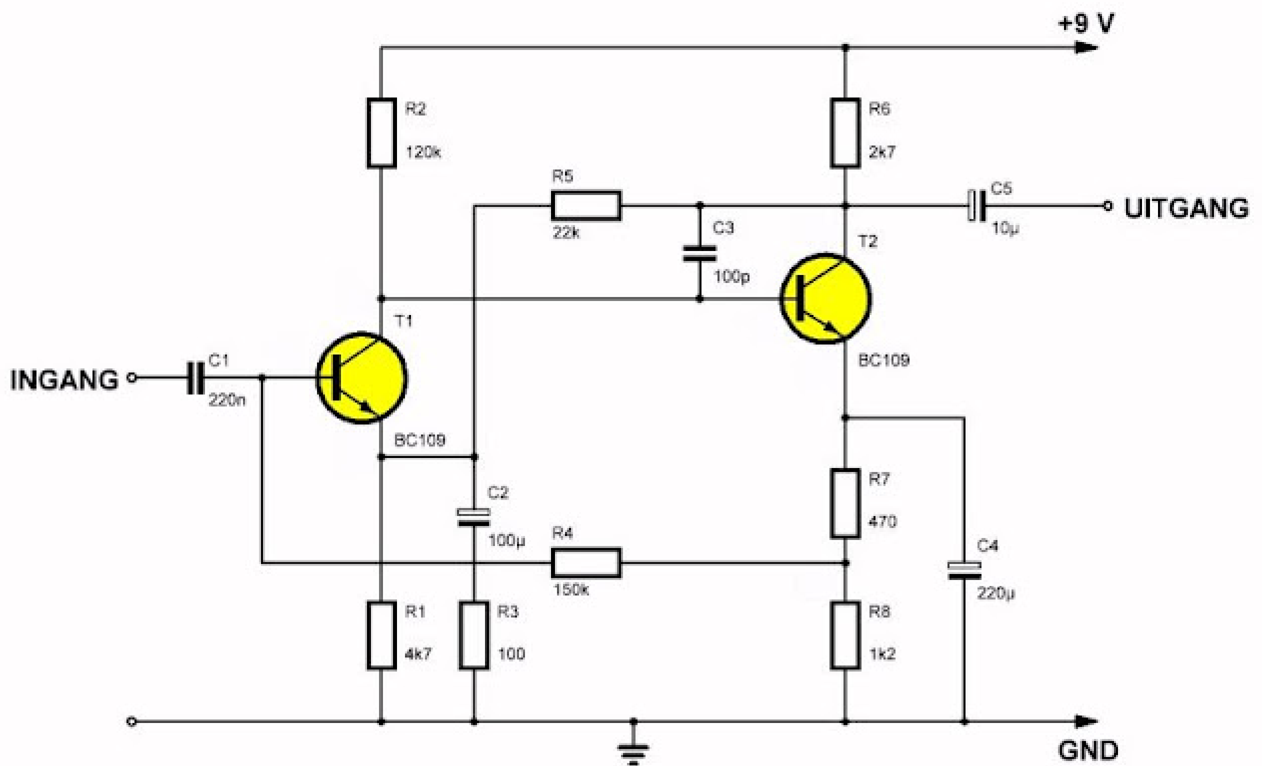
Transistorversterkers voor dynamische microfoons

PNP/NPN-combinatie voor een dynamische microfoon
In de meeste gevallen zijn microfoonversterkers samengesteld uit een tweetraps versterker met een NPN/PNP-combinatie. In onderstaande figuur is een praktisch bruikbare schakeling getekend. De microfoon wordt rechtstreeks aangesloten op de basis van de eerste transistor. Voor het instellen van de trap is dat geen probleem omdat met symmetrische voedingen wordt gewerkt. De signaalversterking wordt bepaald door de verhouding tussen de weerstanden R3 en R4. De weerstand R2 stelt de collectorstroom van de eerste transistor in. Deze moet afgeregeld worden op minimale ruis in het uitgangssignaal.
Het versterkte signaal wordt afgenomen van de collector van T2. Via de scheidingscondensator C2 belandt het signaal op de volumepotentiometer R6. De loper van deze potentiometer gaat naar een weerstandsnetwerkje, waarvan de potentiometer R9 de spil is. Dit is de zogenoemde 'panoramaregeling'. Met deze potentiometer kunt u het signaal van de microfoon verdelen tussen het linker en rechter kanaal van een stereo installatie. Staat de loper van R9 in de middenstand dan krijgen beide kanalen even veel microfoonsignaal toegevoerd en lijkt het alsof de spreker in het midden staat. Door de loper van R9 te verdraaien kunt u de 'plaats' van de spreker instellen tussen uiterst links en uiterst rechts.



Het schema van een versterker voor dynamische microfoons met een PNP/NPN-combinatie. (© 2018 Jos Verstraten)

Een tweetraps versterker met BC109's
Een tweede praktisch schema voor een voorversterker voor een dynamische microfoon is getekend in onderstaande figuur. Het voordeel is dat deze uit een enkelvoudige voeding van 9 V wordt gevoed. De versterker bestaat uit twee trappen die gelijkspanningsgekoppeld zijn. De uitgang van de eerste trap, de collector van transistor T1, is galvanisch verbonden met de ingang van de tweede trap. Deze rechtstreekse koppeling heeft wel tot gevolg dat u stabilisatiemaatregelen moet treffen. Er moet dus een gelijkspanningstegenkoppeling worden aangebracht, die u in het schema terug kunt vinden onder de vorm van de weerstanden R4/R7/R8 en R5/R1. Als de spanning op de basis van transistor T1 zou willen stijgen veroorzaakt deze ongewenste actie een daling van de instelspanning op de collector. Het gevolg is dat ook de instelspanning op de basis van de tweede trap daalt en deze transistor minder in geleiding wordt gestuurd. De transistor T2 trekt minder stroom, over de twee emitterweerstanden R7 en R8 valt minder spanning. Deze spanningsdaling wordt via de terugkoppelweerstand R4 teruggevoerd naar de basis van T1. De oorspronkelijke stijging van de instelspanning wordt dus tegengewerkt, het beste bewijs dat dit netwerk corrigerend werkt op de instelling van de totale versterker.
Een tweede terugkoppeling op de instelling wordt gevormd door de weerstanden R1 en R5. Door het geschetste verloop van de instelspanning op de basis van T1 zal de collectorspanning van T2 flink willen stijgen. Deze stijging wordt voor een deel teruggekoppeld naar de emitter van T1 via de weerstanden R5 en R1. Het gevolg van deze spanningsstijging is dat het verschil tussen de basis- en de emitterspanningen gaat dalen. Beide grootheden variëren immers in dezelfde richting! Ook dit heeft een stabiliserende invloed op de gelijkspanningsinstelling van de versterker.



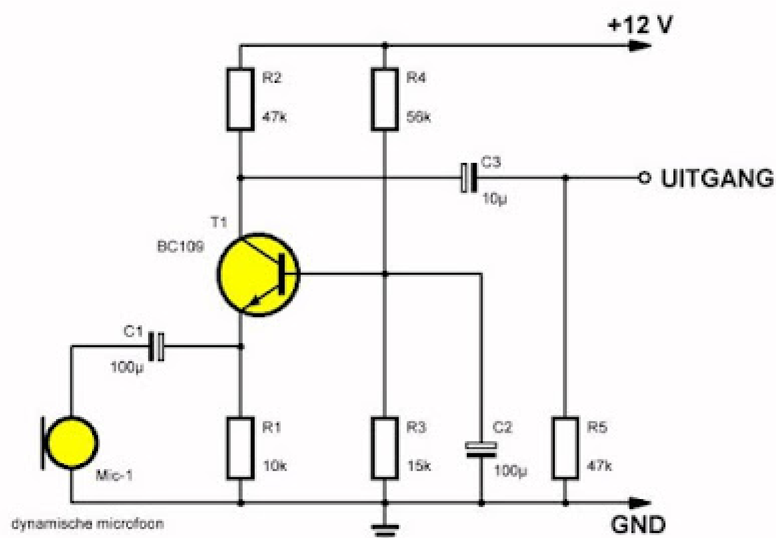
Het schema van een tweetraps versterker voor dynamische microfoons met 2 x BC109. (© 2018 Jos Verstraten)

Instellen van de versterkingsfactor
De wisselspanningsversterking van de microfoonversterker wordt in eerste instantie bepaald door de verhouding tussen de weerstanden R3 en R5. In wezen is deze instelling te vergelijken met de bekende resistieve terugkoppeling van de uitgang naar de ingang van een operationele versterker. Hoe groter de verhouding tussen beide weerstanden, hoe groter de wisselspanningsversterking. De gelijkspanningsinstelling wordt door het in serie opnemen van de condensator C2 niet door deze terugkoppeling beïnvloed. Het is dus zonder meer mogelijk de waarde van R3 te verhogen of te verlagen als de gebruikte microfoon daar aanleiding zou toe geven. De wisselspanningsversterking van de tweede trap wordt bepaald door de verhouding tussen de emitter- en de collectorweerstanden. De emitterweerstanden zijn voor wisselspanning ontkoppeld door de condensator C4, zodat deze versterkingsinstelling alleen geldt voor wisselspanningssignalen.

De bandbreedte bepalende componenten
De bandbreedte van deze schakeling wordt aan de lage kant bepaald door de waarde van de condensator C2. De impedantie van dit onderdeel staat in serie met weerstand R3 en omdat deze impedantie toeneemt naarmate de signaalfrequentie verlaagt zal ook de versterking afnemen voor signalen met lage frequentie. Aan de hoge kant wordt een 15 kHz grens vastgelegd door de waarde van condensator C3. Hoe kleiner deze condensator, hoe breedbandiger de schakeling wordt. Het is echter niet aan te bevelen dit onderdeel te verkleinen omdat dan weliswaar de bandbreedte stijgt, maar ook de kans op oscillaties.

Eentraps versterker in geaarde basis schakeling
U bent gewend om het signaal aan te bieden aan de basis van een transistor. Dat is echter slechts één versterkerconfiguratie. In onderstaand schema is een versterker voor laagimpedante dynamische microfoons voorgesteld, waarbij het signaal op de emitter van een transistor wordt aangeboden. De basis wordt door middel van de spanningsdeler R3/R4 op een vaste spanning ingesteld. Deze basis is bovendien door middel van de grote condensator C2 ontkoppeld. Vandaar dat deze schakeling door het leven gaat onder de naam *'geaarde basis schakeling'*. Deze configuratie wordt niet vaak toegepast in audio-schakelingen, maar heeft als voordeel dat u de collectorstroom op een zeer lage waarde kunt instellen. In dit voorbeeld wordt de collector ingesteld op een spanning van 2,4 V, hetgeen

een collectorstroom van ongeveer 200 µA oplevert. Zoals uit de eerste paragraaf van dit artikel volgt levert dit de kleinste ruisspanning in de transistor op. De equivalente ingangsimpedantie in de emitter bedraagt slechts 400 Ω, een ideale waarde om een laagohmige dynamische microfoon op een te sluiten. De versterking van de trap wordt bepaald door de verhouding tussen de weerstanden in de collector en in de emitter en bedraagt dus slechts 4,7. Vandaar dat u deze trap moet afsluiten met een tweede versterker, waaraan u echter minder hoge eisen kunt stellen wat betreft ruis.



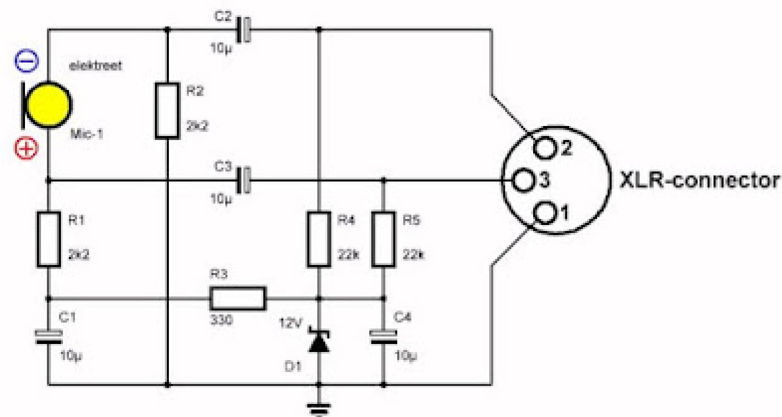
Een geaarde basis microfoonversterker. (© 2018 Jos Verstraten)

Microfoons aansluiten op een XLR met fantoom voeding

Inleiding
In professionele audio-apparatuur wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van condensator microfoons. Deze moeten, net zoals elektreets, gevoed worden met een gelijkspanning. Bovendien moet de eerste versterkertrap altijd zo dicht mogelijk bij de microfoon worden ondergebracht. De noodzakelijke gelijkspanning kunt u natuurlijk uit batterijen halen die in de behuizing van de microfoon zitten. Als de microfoons echter met kabels worden aangesloten op een mengtafel werkt men vrijwel steeds met voeding via deze kabels. Dat wordt *'fantoomvoeding'* genoemd en de fantoomspanning is gestandaardiseerd op 48 V gelijkspanning, waarvan de positieve pool via de pennen 2 en 3 van een XLR-connector aan de microfoon wordt aangeboden. Pen 1 van deze connector gaat naar de massa en daar zit ook de negatieve pool van de voeding op. Omdat men in de professionele audiotechniek met gebalanceerde lijnen werkt, moet u het microfoonsignaal in tegenfase gemoduleerd aanbieden op de pennen 2 en 3 van de XLR ingangsconnector van een mengpaneel.

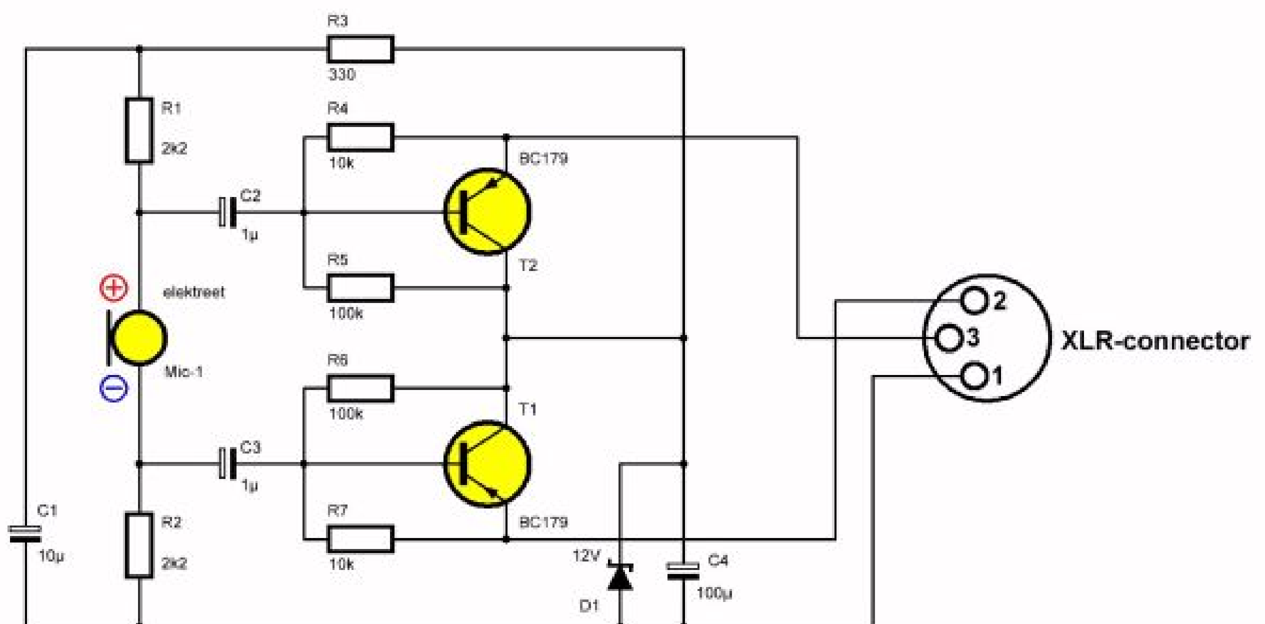
Een elektreet aansluiten op een XLR-connector met fantoomvoeding
Condensator microfoons zijn erg duur en misschien wilt u een goedkoop elektreet exemplaar op zo'n mengtafel aansluiten. Als deze MIC-ingangen heeft met fantoomvoeding moet u de elektreet op een speciale manier op de XLR-connector aansluiten. In onderstaand schema hebben wij een van de vele mogelijkheden geschetst. In dit voorbeeld wordt gewerkt zonder voorversterking bij de microfoon, dus het enige dat deze schakeling doet is het zeer kleine microfoonsignaal gebalanceerd via de drie-aderige kabel aanbieden aan de XLR-connector van uw mengtafel. Het enige dat u niet mag vergeten is de negatieve aansluiting van de elektreet los te solderen van de metalen behuizing van de microfoon, die op massapotentiaal staat. U moet immers gebalanceerd werken en dan moeten beide uitgangen van de microfoon los staan van de massa. De 48 V fantoomvoeding wordt via de weerstanden R4 en R5 van de pennen 2 en 3 van de XLR-connector gehaald. Via de condensator C4, de zener D1 en het extra afvlaknetwerk R3 en C1 wordt een mooie 12 V voeding afgeleid voor uw

elektreet. Tussen de massa en deze 12 V staat de serieschakeling van de weerstand R1, de elektreet en de weerstand R2. Beide weerstanden moeten absoluut even groot zijn. Als er stroom door de microfoon loopt zullen er over beide weerstanden even grote spanningen worden gegenereerd. Beide spanningen zijn echter in tegenfase, als de ene stijgt daalt de andere en vice versa. Deze gebalanceerde microfoonsignalen worden via de elco's C2 en C3 op de aders van de kabel, die naar de pennen 2 en 3 van de connector gaan, gesuperponeerd.



Een elektreet aansluiten op een XLR-connector met fantoomvoeding.
(© 2018 Jos Verstraten)

En nu met ingebouwde emittervolgers
De vorige schakeling heeft een vrij hoge uitgangsimpedantie. Dat betekent dat de weergave van de hogere frequenties in gevaar komt als u een lange kabel gebruikt. Zo'n kabel heeft immers een niet te verwaarlozen parasitaire capaciteit en deze vormt, samen met de uitgangsimpedantie van de schakeling, een laagdoorlaatfilter dat de hogere frequenties verzwakt. In onderstaand schema wordt dit probleem opgelost door het integreren van twee emittervolgers in de schakeling bij het elektreet kapsel. De stroom die door de transistoren vloeit zorgt nu voor het opbouwen van een stabiele 12 V voedingsspanning over de diode D1.



Een elektreet met emittervolgers aansluiten op een XLR-connector met fantoomvoeding. (© 2018 Jos Verstraten)